

高層住宅におけるキッチン家具の地震時挙動のシミュレーション

○翠川 三郎¹⁾, 初岡 徹朗²⁾, 三浦 弘之³⁾, 正月 俊行⁴⁾

- 1) 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻, smidorik@enveng.titech.ac.jp
- 2) 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻, hatsuoka.t.aa@m.titech.ac.jp
- 3) 東京工業大学 大学院総合理工学研究科 人間環境システム専攻, hmiura@enveng.titech.ac.jp
- 4) 構造計画研究所 防災・環境部 地震防災室, toshi-masatsuki@kke.co.jp

1. はじめに

近年の地震では、全負傷者数のうち屋内における家具類の転倒、落下物による原因が占める割合が4割程度であることが知られており¹⁾、屋内での人的被害を考える上で、地震時の家具類の挙動について検討することは重要である。また、近年発生が懸念されている東海、東南海、南海地震の巨大地震では長周期地震動が卓越すると考えられ、大都市圏に数多く存在する長い固有周期をもつ高層建物では大きな揺れが数分間続くことが予測されている^{例えば、2)}。このため、長周期地震動による高層住宅内での家具類の転倒や移動に関する検討を行うことは地震防災上重要である。

筆者らは高層建物におけるオフィス内の家具群の地震時挙動について、振動実験および物理シミュレーションにより検討してきた³⁾。さらに、高層マンションでの一般住宅内の家具類を考えると、コンロによる火気があり、食器など破損しやすい陶器・ガラス類が多く存在するキッチンにおける家具類の地震時挙動を把握しておくことは、室内安全性を検討する上で重要である。昨年度は食器棚やシステムキッチン上の鍋の地震時挙動について予備的な実験を行った^{4)、5)}。今年度は、より多くのキッチン家具を対象として、大変位2次元振動台による振動実験および剛体の物理シミュレーションにより、キッチン家具の地震時挙動について検討した。

2. 振動実験

長周期・大振幅の揺れに対する家具類の挙動の基本的な性状を把握するため、大変位2次元振動台を用いて振動実験を実施した。この振動台は大振幅で加振することが可能であり、最大変位は長軸方向に±100cm、短軸方向に±50cmである。最大加速度は1000cm/s/s、最大速度は150cm/sまで再現可能である。台の大きさは約3.2m×約2.5mである。

使用した家具は、冷蔵庫、食器棚、システムキッチン、食卓、椅子の5種類である。各家具の外観を図1に示す。冷蔵庫や食器棚の扉および引出しに



図1 使用したキッチン家具

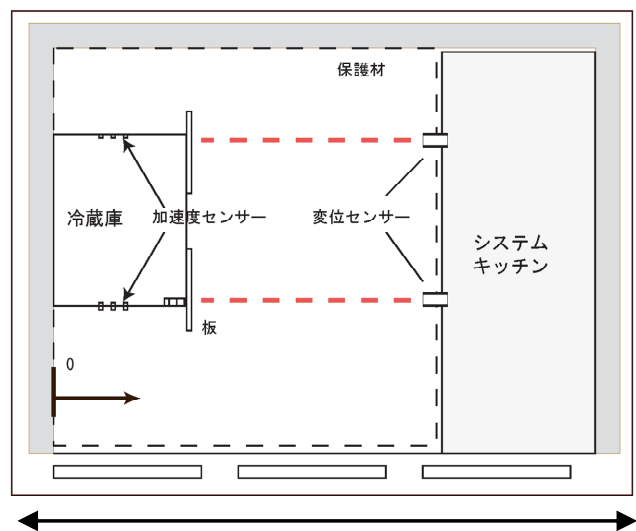


図2 冷蔵庫の設置方法

については、収納物がない場合と収納物 3kg を入れた場合の 2 通りを実験した。試験体の実験方法の一例として、冷蔵庫の設置方法を図 2 に示す。加速度センサや変位センサを利用し、振動時の試験体の加速度や相対変位を測定した。加振には周期 2~4 秒、加速度 50~450cm/s/s の正弦波を用い、図 2 中の矢印（長軸）方向に加振した。

振動実験の結果をまとめたものを表 1 に示す。冷蔵庫本体は、300cm/s/s から大きく移動する様子が見られた。食器棚本体は 250cm/s/s からロッキングをはじめ、300cm/s/s で転倒した。冷蔵庫および食器棚の扉や引出しについては、収納物がない場合には開閉しなかったが、収納物がある場合には 350cm/s/s から開閉する様子が見られた。システムキッチンの扉は 300cm/s/s から、引出しは 350cm/s/s からそれぞれ開閉した。食卓は 350cm/s/s から移動し、椅子は 250cm/s/s から移動する様子が見られた。

3. 振動実験のシミュレーション

剛体の物理シミュレーションにより、振動実験結果の再現を試みた。シミュレーションには、接触する物体間にバネ・ダンパモデルを用いて、動摩擦力や静摩擦力などの接触力を計算できる Springhead⁶⁾を利用した。シミュレーションでは、まず各試験体をモデル化し、試験体の摩擦係数、バネ・ダンパ係数、重心位置、扉などの可動部の回転抵抗などのパラメータを与えた。各パラメータの値については、振動実験による挙動と合致するようにチューニングした。

振動実験のシミュレーションの一例として、図 3 に冷蔵庫に対する周期 2 秒、加速度 300cm/s/s の場合におけるシミュレーション結果を示す。図は、冷

蔵庫本体の振動台に対する相対変位の時刻歴を表し、薄線が実験による観測波形で、濃線がシミュレーションによる波形を表している。両者を比較すると、試験体の動き出す時刻や動的な振幅はほぼ一致しており、シミュレーションにより試験体の挙動を概ね再現できているといえる。

ただし、一度壁に衝突した後、すなわち相対変位がゼロに戻った後、シミュレーション波形の方がより大きく反発しており、壁と冷蔵庫間のバネ・ダンパ係数等の設定に改善の余地があるかもしれない。

4. キッチンのシミュレーション

最後に、設定したパラメータを用いてキッチン全体をモデル化し、高層住宅上階における家具類の挙動をシミュレートした。シミュレーションには、想定東海・東南海地震 (M8.3) における名古屋三の丸の計算波形⁷⁾から求められた、30 階建物上階における応答波形⁸⁾を利用した。使用した応答波形を図 4 に示す。図は加速度の時刻歴を表しており、最大加速度は約 500cm/s/s で、最大速度では約 170cm/s となる。

図 5 上段にシミュレーションによる家具の配置図を示す。左奥および左手前側に冷蔵庫および食器棚を設置し、右側にはシステムキッチンを設置した。

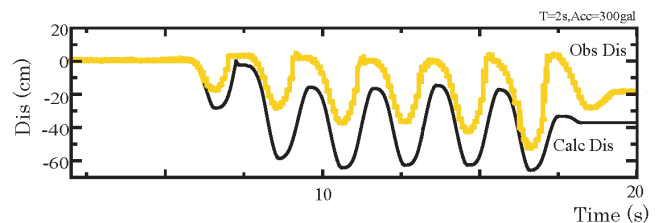


図 3 冷蔵庫本体のシミュレーション結果

表 1 試験体の振動実験結果

加速度 (cm/s/s)	周期 (秒)	冷蔵庫					食器棚					システムキッチン		食卓	椅子	
		本体	扉 (収納物 なし)	扉 (収納物 3kg付き)	引出 (収納物 なし)	引出 (収納物 3kg付き)	本体	扉 (収納物 なし)	扉 (収納物 3kg付き)	引出 (収納物 なし)	引出 (収納物 3kg付き)	扉	引出			
200	4	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	3	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	2.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
250	3	△	×	×	×	×	△	×	×	×	×	△	×	×	△	△
	2.5	△	×	×	×	×	△	×	×	×	×	△	×	×	×	△
	2	△	×	×	×	×	△	×	×	×	×	△	×	×	×	△
300	3	◎	×	×	×	△	●	×	×	×	×	○	○	×	○	○
	2.5	◎	×	×	×	△	●	×	×	×	×	○	○	×	○	○
	2	◎	×	×	×	△	○	×	×	×	×	○	○	×	○	○
350	2.5	◎	×	○	×	○	—	×	×	×	×	○	◎	○	○	○
	2	◎	×	○	×	○	●	×	×	×	×	○	◎	○	○	○
400	2	◎	×	◎	×	◎	—	×	△	×	△	○	◎	◎	◎	◎
450	2	◎	×	◎	×	◎	—	×	△	×	○	○	◎	◎	◎	◎

●:転倒, ◎:移動(50cm以上), ○:移動(10~50cm)
△:わずかに移動, ×:移動なし, —:実験なし

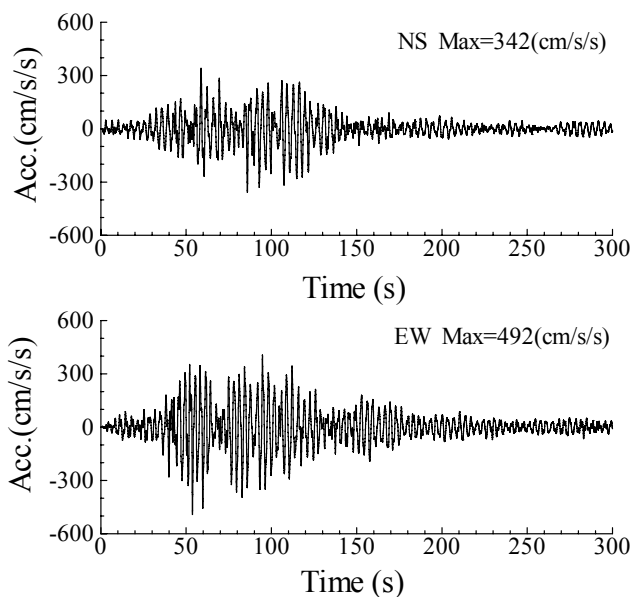


図4 想定・東南海地震（M8.3）による名古屋三の丸における30階建物上階の応答波形

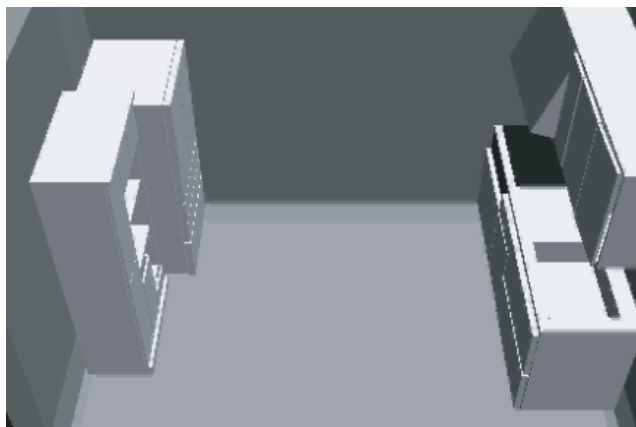
なお、今回のシミュレーションでは家具内の収納物については考慮していない。図5中段、下段は加振から40秒後、80秒後のシミュレーション結果をそれぞれ示している。食器棚は30秒頃からロッキングし始め、図5中段に示すとおり、40秒後には転倒した。また、同じく40秒後にはシステムキッチンの扉が開閉する様子がみられた。

図5下段に示す80秒後には、冷蔵庫は約1m移動、転倒した食器棚も移動し、システムキッチンの扉や引出しは繰り返し開閉する様子がみられた。また、家具類の移動や扉等の開閉は約100秒間続くことを確認した。このような状況下では、人は立ってられず、避難することも困難となることが予想される。さらに、家具内に収納物がある場合、表1の振動実験で示したとおり、扉・引出しはより開閉しやすくなることから、収納物の移動・落下等により、負傷する可能性がより高くなるものと考えられる。

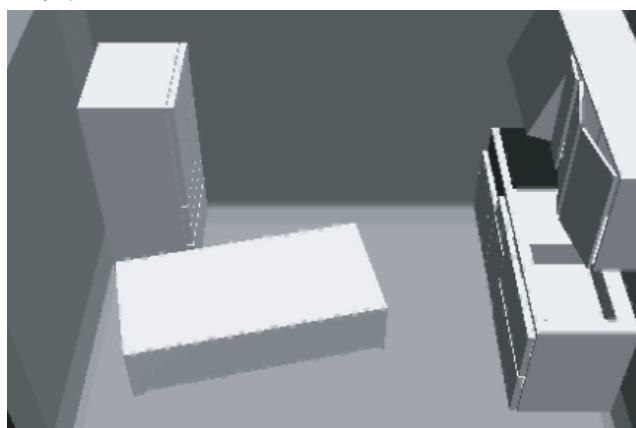
5. まとめ

高層住宅上階で生じる長周期・大振幅の揺れによるキッチン家具類の挙動について、振動実験および剛体の物理シミュレーションにより検討した。まず、振動実験によりキッチン家具単体の挙動を把握した。その後、実験による挙動と合致するよう物理シミュレーションによる各試験体のパラメータをチューニングした。最後に、それらのパラメータを用いてキッチン全体をモデル化し、想定東海・東南海地震による名古屋三の丸での計算応答波形を用いて、高層住宅上階における地震時挙動をシミュレートし

0秒後



40秒後



80秒後

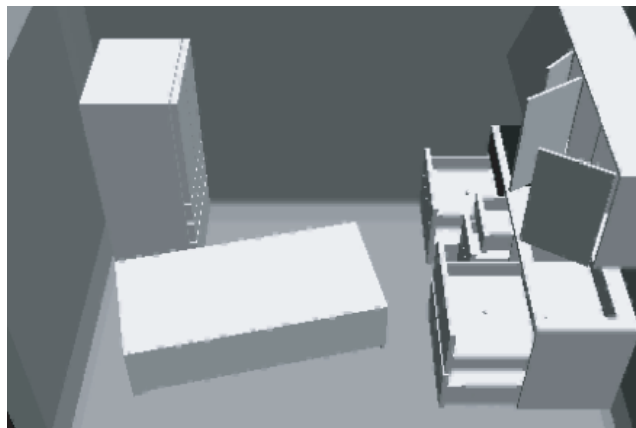


図5 キッチン全体におけるシミュレーション結果

た。その結果、振動中に家具は大きく移動、転倒し、扉・引出しも開閉することから、避難することは困難であり、収納物の落下なども考慮すると、負傷する可能性が高くなることを指摘した。

謝辞

東京理科大学の北村春幸教授による東海・東南海地震のシミュレーション波の応答波形を使用させていただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 東京消防庁：家具類の転倒・落下防止対策ハンドブック -室内の地震対策-, 2006.
- 2) 日本建築学会：長周期地震動と建築物の耐震性，日本建築学会，408p, 2007.
- 3) 正月俊行，翠川三郎，大堀道広，三浦弘之：超高層建物におけるオフィス内の家具群の地震時挙動シミュレーション，日本建築学会構造系論文集，第 620号，pp. 43-49, 2007.
- 4) 翠川三郎，三浦弘之，初岡徹朗，高雄眞：超高層建物におけるキッチン家具の地震時挙動に関する予備的実験，首都圏大震災軽減のための実践的都市地震工学研究の展開 平成 19 年度成果報告シンポジウム 予稿集，pp. 33-36, 2008.
- 5) 初岡徹朗，翠川三郎，三浦弘之：高層建物におけるキッチン家具の地震時挙動に関する予備的実験，日本建築学会学術講演梗概集 B-2, pp. 215-216, 2008.
- 6) Hasegawa, S. and Sato, M.: Real-Time Rigid Body Simulation for Haptic Interactions Based on Contact Volume of Polygonal Objects, *EUROGRAPHICS 2004*, Vo. 23, pp. 529-538, 2004.
- 7) 宮腰淳一，中田 猛，福和伸夫，柴田昭彦，白瀬陽一，齊藤賢二：名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基盤地震動の作成，日本地震工学会 2004 梗概集，pp. 394-395, 2004.
- 8) 小鹿泰稔，川崎恵，馬谷原伴恵，北村春幸：長周期地震動に対する鋼構造超高層建物の損傷評価（その 1）部材レベルの最大値，累積値，日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2, pp. 461-462, 2007.